

# 情報処理技術者育成用 CAI コースウェアの構築に関する研究

星 野 隆

- 〈目 次〉
- 1 はじめに
  - 2 CAI コースウェアの開発の環境と構造的開発理論
  - 3 CAI コースウェアのシナリオ作成技法
  - 4 CAI の運用上の問題，構築上の問題と誤答の処理
  - 5 結 論

## 1 はじめに

この論文は前回の「情報処理技術者試験対策用 CAI に関するシステム開発の実践的研究」でシステム開発の方法論、実践的システム設計とその過程で発生する問題点について論究したが、その後を受けて実際の CAI コースウェアの開発について論ずる。

すなわち、前回のシステム設計を受けて、必ずしも完成されたオーサリングシステムではないが、現在本学にある IBM のトークンリング LAN (Local Area Network) システム上で稼働するアルプシステム株式会社のオーサリングシステムである「IMAGE」を最大限に活用して現行システムでの最適な CAI コースウェアを構築する過程を研究する。このシステムはかなり良い機能を多くもっているので十分に考慮して使えばかなり優れた CAI が開発できる。

この CAI コースウェア構築の研究はすべての教育をコンピュータを用いて教育しようとしているのではない。先生のエデュケーション活動を支援したり、授業の内容を理解しているか問題演習で知識の定着や知識のもつ意味を確かめたり、使い方を含めて深い知識を確実に理解させたり、放課後の学生の自習を支援したりするのが目的である。

また、CAI を用いた教育は 1 日に 1～2 時間が限度である。この基本原則はいつも CAI の研究する上での大前提であることを忘れてはならない。

実際に CAI コースウェアを構築する際に発生する問題点に関しては、今後どのように解決していったらよいかについて論究する。また、CAI コースウェアの開発ツールであるオーサリングシステムの改良点についても論究する。

CAI のコースウェアを開発する際の重要な点はシナリオ作りである。そこで特にシナリオ作りについて考察した。

CAI 化する対象は、情報処理技術者試験の午前の問題であるソフトウェア、ハードウェアと関連知識に加えて、午後の問題である流れ図とコンピュータ言語「COBOL」とした。最初はハードウェアから開発を開始した。

最近、判明したことであるが、この論文を提出する10月の末頃にアルプシス

テム株式会社より前システムを改良した「IMAGE 2」が発売されることがアルプシステムのCAI研究会で発表され、そのグレードアップの予告と、そのシステムのデモンストレーションを見学した。

もし、このシステムが導入されたならばCAIコースウェアは内容的に大幅な質的向上と開発時間の短縮が図られることが期待される。このシステムの特徴については後で触れる。

## 2 CAI コースウェアの開発の環境と構造的開発理論

今回の研究テーマはCAIコースウェアのシステム開発の後を受けて、図1<sup>(1)</sup>で示されるCAIコースウェアのシステム開発の流れの中で、8のCAIコースウェアの詳細設計から12の総合テストまでとした。

### 2.1 CAI コースウェアの開発環境

#### (1) CAI 研究の目的

この論文で前提条件としている教育システムは、教育目標であるハードウェア等のそれぞれの科目のカリキュラムに添ってポイントを教授し、学生がテキストや参考書等で学習し、学生はそれに関連する周辺の技術項目についての原理、原則とその応用についてみずから研究する。

上述した教育をする教科科目に該当する科目の無い場合は、既存の市販CAIコースウェアかこれから開発するCAIのコースウェアで学習したことを前提とする。

その後で、今回開発しているハードウェア等のそれぞれの科目のCAIコースウェアを用いて理解の度合をテストし、その学習課題を良く理解しておれば次の学習課題に進むものとする。

この過程の繰り返しによって学生は、各科目の学習とそれに関連する技術項目について研究するという教育学習システムを実践するものと仮定する。

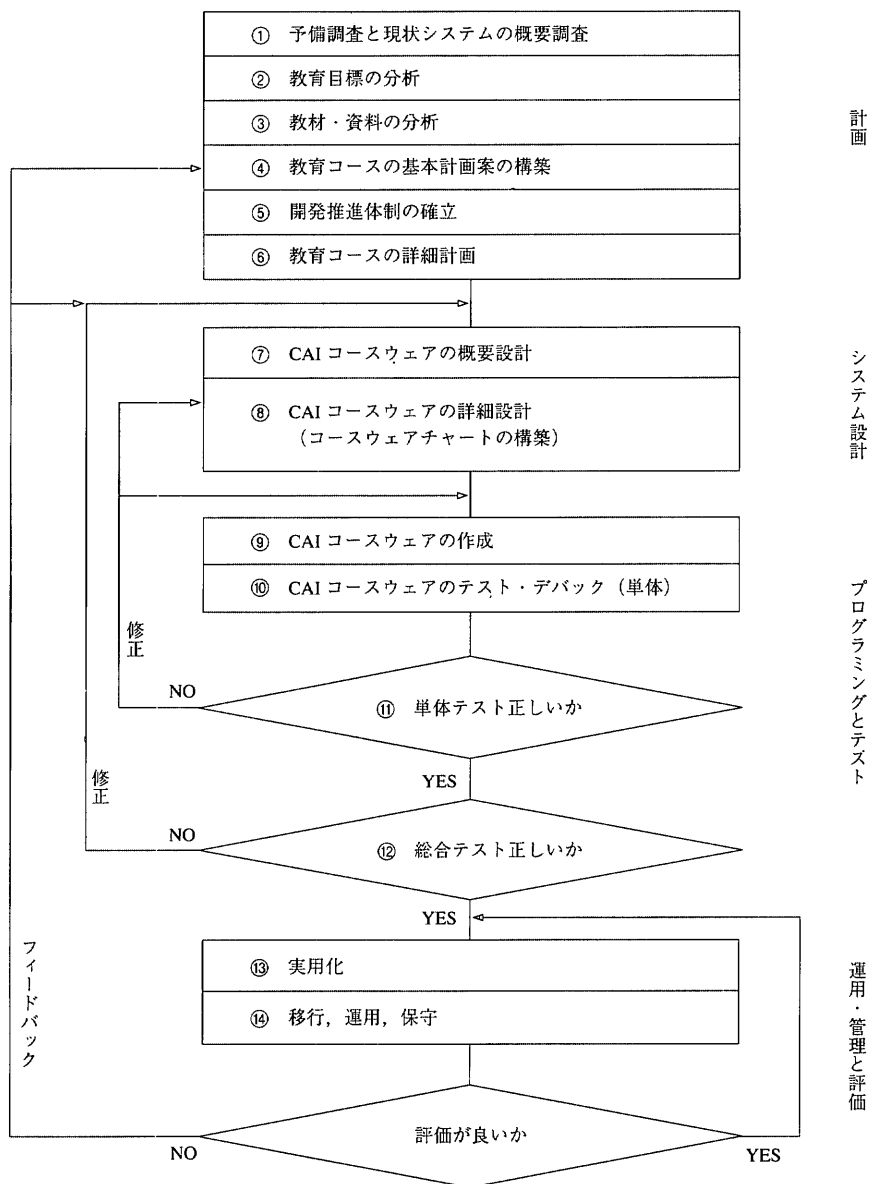


図1 CAI コースウェアのシステム開発の流れ

## (2) PS 教材作成法によるコースウェアの構造化の技法

前記目的の条件を満たすCAIコースウェアを開発するにはPS教材作成法(“Point Frame” & “Satellite Information” designed for The Computer Teaching Materials)と呼ばれる技法<sup>(2)</sup>がある。

PS教材作成法はカリキュラムの体系化と構造化を実現し、教育目標を達成するためにポイントフレームとサテライトインフォメーションによって個々の学生の学習の進捗と理解度に対応して、それぞれに最適な学習ができるようにCAIコースウェアを構築する技法である。

ここでポイントフレームとは学習要素の中で骨子となる重要項目でかつ、必要欠くべからざる項目をフレーム化したものを指している。ポイントフレームはCAIコースウェアのメインの流れを形成させるフレームである。

また、サテライトインフォメーションとは個々の学生が学習する時に必要度に応じて問題解決への手がかりやヒントとなる学習支援情報を提供するための情報である。

すなわち、サテライトインフォメーションは個々の学生の学習項目の理解度に合わせて学習の方法、学習の内容と学習情報を提供する媒体等も含めて質的にも量的にも最適な調和を図ることが可能となり、学生個々に対応可能な個別学習システムを構築できる。

サテライト情報には言葉による説明、イラスト(動画を含む)やグラフによる説明とシミュレーションによる説明等がある。

## (3) マルチメディアを利用した CAI コースウェア開発環境

マルチメディアとは、複数(マルチ)の媒体(メディア)が融合したシステムである。

ここで学習情報を提供して学習を支援するマルチメディアとはメディアと言われる静止画(イメージスキャナ)、映像(ビデオ、映画)、動画・アニメーション・図形・グラフ(コンピュータグラフィックス)、音声(光ディスク、CD-ROM、カセットテープ)、文字(パソコン、ワープロ)、映像と音声を一体化した(CD-I, CVI)、

ハイパーメディアなどを2つ以上組み合わせで一対化したシステムである。この他に印刷教材(テキスト, 参考書や問題集)などのハードコピー教材を融合させると効果的である。

このようなマルチメディアを利用できるCAIコースウェアの構築が徐々にではあるが可能になりつつある。実用に耐えるマルチメディア対応のCAIコースウェアができるのは情報処理技術の進歩から考察して, あと5年位先であろうと考えている。それまでは1年1年とメディアが複合されて使用可能になるであろう。特にCD-Iの発展で音声, 動画の融合が期待される。

ポイントフレームとサテライトインフォメーションとの関連図は図2のようになる。

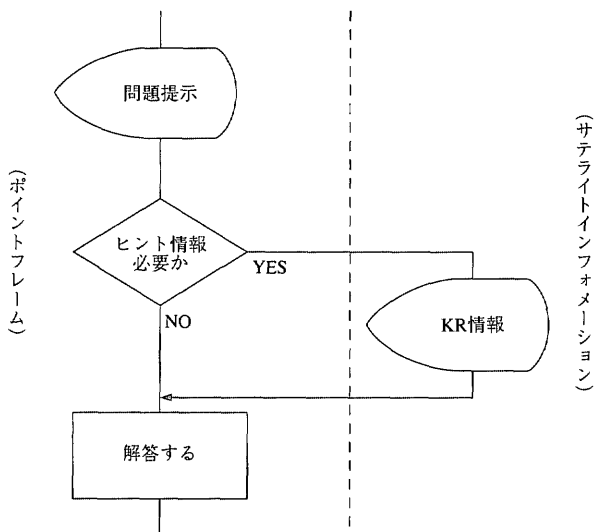


図2 ポイントフレームとサテライト情報

## 2.2 CAI コースウェアの構造的詳細設計のための ISM 技法

CAI コースウェアを構造的に構築するにはウォーフィールド (Warfield) の提案した ISM (Interpretive Structural Modeling)<sup>(3)</sup>, すなわち, 構造化モデル法を用いることにする. この ISM の技法はグラフ理論とブール代数を合わせて発展したものである.

ISM 技法は対象システムに対して関係する要素群を, それぞれの要素間の関係によって有向グラフの形式で構造的に階層化する. この時, 担当者の負担を減少させるためにそれぞれの要素間の関係に対して推移律を仮定することにより, 必要な解答数を減少させる点が最大の特徴である.

### <sup>(4)</sup> ISM 技法の手順

構造化したい対象システムのそれぞれの要素を  $E_i (i=1, 2, \dots, n)$  とすると, その中の 2 つの要素 ( $E_i, E_j$ ) 間の関係は, 関係の記号を  $R$  として,  $E_i R E_j$  と表わすことができる, ただし  $j=1, 2, \dots, n$  とする. これら相互の関係の中には推移律を強く持つものもあるし, やや持つものもあり, また何も持たないものもある. この ISM 技法では推移律をやや持つものも含めて, 推移律があるものと仮定して理論を展開している.

ISM 技法は要素間の関係  $R$  が推移律を満たすものという前提で, 到達可能行列を  $M$  として  $M$  を質問の解答に従って定める. ここで, 到達可能行列  $M$  とは, 任意の  $i, j, k$  に対して  $M_{ij}=1$  and  $M_{jk}=1$  ならば  $M_{ik}=1$  が成立する行列のことである.

さらに, 到達可能行列  $M$  を使って順次階層化を繰り返して, このように階層化されたものを有向グラフとして表現する. この手順を順を追ってみると次のようになる.

- ①それぞれの要素とそれ以外の要素との関係  $R$  を一対として  $E_i$  から  $E_j$  に対する関係と  $E_j$  から  $E_i$  の関係が有るか無いかを質問して到達可能行列  $M_{ij}$  と  $M_{ji}$  を求める. ただし, ここで関係が有るときは  $M_{ij}=1, M_{ji}=1$  とし,

関係の無いときは  $M_{ij}=0, M_{ji}=0$  と表現して1,0以外の数値はとらないものとする。

さらに要素集合  $E=\{E_1, E_2, \dots, E_n\}$  は次のように分解する。

$$E=\{E_i; L(E_i); V(E_i); D(E_i)\}$$

ここで,  $L(E_i)$ は  $E_i$  の上位集合(Left set),  $V(E_i)$ は未利用集合(Vacancy set)と  $D(E_i)$ は下位集合(Drop set)を表わすものとする。

また,  $F(E_i)=\{E_j \in L(E_i) \mid E_j R E_i\}$  というフィードバック集合(Feedback set)を考える。この関係を図示すると図3となる。

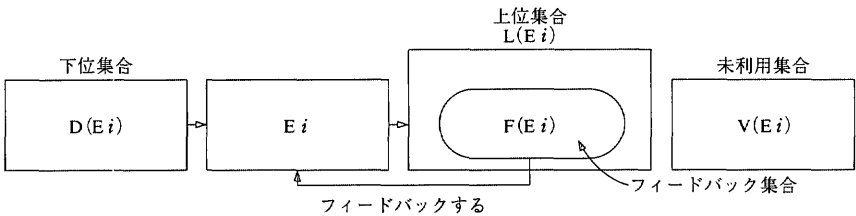


図3 集合間関連図

②上位集合からフィードバック集合を引いた集合  $L(E_i)-F(E_i), V(E_i)$  と  $D(E_i)$  に複数個の要素が含まれていることのないように各部分集合の要素数が1以下になるまで分解する。上記①, ②の操作をすることによって  $n$  行  $n$  列の行列になる。

③行列の中の各部分行列の各要素を推移律により1か0のどちらかと推論する。

④さらに, 連結行列と呼ばれる部分行列  $M_v, L-f, M_{dv}$  を求める。

⑤続いて, 到達可能集合(Reachability set):  $RS(E_i)$  と先行集合(Antecedent set):  $AS(E_i)$  と呼ばれる2つの集合を, すべての要素  $E_i$  について求める。

⑥次に⑤で求めた2つの集合を用いて部分集合  $E_1$  を求める。この部分集合  $E_1$  は第一階層の要素集合となる。

$$E_1=\{E_k \in E \mid RS(E_k) \cap AS(E_k)=RS(E_k)\}$$

同様に, 以下  $E-E_1, E-(E_1+E_2), \dots$  と繰り返すことにより集合  $E$



の階層的分解が可能となる。これによって階層構造が明らかになる。

- ⑦到達可能行列 $M$ の各要素を階層順に並べ換えると階層順行列  $M^*$  ができる。ここで部分行列のすべての要素が1になるような部分行列は、1つに集約した要素で置き換えた行列を縮約行列  $M'$  とする。これも集約されているが下三角行列となる。
- ⑧⑦の縮約行列から、ブール代数などの特性を生かして数値計算して骨格行列  $A'$  を求める。
- ⑨このようにして算出された骨格行列より骨格グラフ (Skeleton matrix) という形式で階層化できる。

#### ISM 技法を用いるときの注意事項

- (1) ISM 技法を用いる場合は、推移律が仮定されているので推移律が満足されないものに利用できない。
- (2) フィードバックパスの存在する場合は、縮約されて同一階層になるので階層化が完全に行なわれない等の問題がある。しかし、定性的問題解決など有効な手法である。

教育カリキュラムの構造化などに適用した佐藤隆博の「ISM 構造学習法」は有効な手法でありコンピュータを用いて構造図を書くことで良く知られている。

### 3 CAI コースウェアのシナリオ作成技法

CAI コースウェアのシナリオ作りはあたかも不確実性下の多期間意思決定問題と似ている。

シナリオ作りという観点から見ればカリキュラムという大きな幹になる部分は定まっている。そこで指導する先生の裁量によって枝葉の部分はそれぞれ独特のシナリオになるように設計するのが良い CAI コースウェアを構築する原点となる。

CAI の機能面から分類した種類には、フレーム型 (ドリル型, チュートリアル

型)、データベース型、自動生成型、マルチメディアを駆使したタイプ(仮称「マルチメディア型」と呼ぶことにする)や知的CAIがある。知的CAIは学習する学生の思考のおもむくままに決定していく、だから一定のシナリオはない。

最後の知的CAI以外はシナリオの善し悪しがオーサリングシステムの機能の善し悪しに深く関連しておりCAI構築のキーポイントである。

CAIの分類には、機能面からの分類、学習様式による分類やコンピュータ構成による分類<sup>(5)</sup>がある。

この論文では機能面からシナリオ分析をするので、CAIの機能面から分類した種類とその特徴を列記すると次のようになる。

- ①フレーム式ドリル型：学生に練習問題や演習問題を提示し順次解かせるタイプのCAIである。
- ②フレーム式チュートリアル型：CAIで教育して、その後で問題を出してその解答によって個人的指導をするCAIタイプである。
- ③データベース型：学生の検索入力に対して該当科目データベースから情報提供したり、解答に対する評価・解説をするタイプである。
- ④自動生成型：乱数を使って問題の数字をかえて別の問題にしたり、同等問題の中から1つを選んで出題したり、シミュレーション技法を用いたり、問題の出題順番を変えたりして自動的にコースウェアのシナリオを変えたりするCAIである。
- ⑤マルチメディア型：複数個のメディアを利用して学生の五感に訴えて教育効果を上げるCAIである。マルチメディア型CAIは上記4タイプのCAIの中に併用して用いる場合が多いのが特徴である。
- ⑥知的CAI：人工知能技術の発展にともない、これから一番期待されるCAIであるが現状では、完成されたものはないと言って過言でない。

CAIの機能別分類と学習別分類との対応を図示すると図4となる。

#### CAIコースウェアを構築する場合に留意したこと

上記のようにCAIには多くの種類があるが、その1つの技法(タイプ)に統一するのでなく教育の技法として、そのときの場面場面にマッチしたタイプを駆

CAIの分類間の対応			
CAIの機能別分類		CAIの学習別分類	
フレーム型	ドリル型	ドリル型	←
	チュートリアル型	チュートリアル型	←
データベース型		問題解決型	←
		情報検索型	←
自動生成型		シミュレーション型	←
マルチメディア型		すべてのタイプに取り入れられる	
知的CAI		問題解決型	←
		情報検索型	←

図4 CAIの分類間の対応

使して構築することに重点を置いた。

そこで、これらのそれぞれのCAI構築技法のシナリオを論者自身の開発するCAIコースウェアに取り込むためには、どのようにアルゴリズムを考えたか、どのように取り入れたかを順次記述する。

### 3.1 フレーム型の中のドリル型CAIのシナリオ構造

ドリル型は前段で授業などで学習したことに対してCAIコースウェアを用いてドリル問題を提示しその問題を如何に解くかが課題である。

ドリル型CAIのシナリオ構造は問題を解くことが主眼であり、不正解のときどんな点の知識が不足していたか、どこにつまずいたか判定し、それにあった指導をすることが肝要である。次のような手順で行なうと効果的である。

まず、電源を入れて学生番号とパスワードを入れてコンピュータの利用をすることを宣言する。

- ①メニューより学習履歴などを参照して今回の学習テーマを選択する。
- ②問題の提示（問題文と選択肢を画面上に出す。）
- ③ヒント情報が必要であるか質問を出す。
- ④ヒントを必要とするならば出す。
- ⑤解答を考える。
- ⑥解答の入力をする。

- ⑦正解か判定する。正解ならば⑪に飛ぶ。
- ⑧制限回数以上なら⑪に飛ぶ、不正解なので指導情報を出す。
- ⑨類題を出し解かせる準備をする。
- ⑩②へ飛ぶ。
- ⑪不正解ならば正解を提示し解説する正解には発展的情報を示す。
- ⑫次の問題へ進むか否か判定する。
- ⑬次の問題へ進むならば、問題を次に進めて①～⑫を繰り返す。
- ⑭学習を止めてCAIの教育の学習履歴を学習管理ファイルに保存する。
- ⑮CAIの終了処理をする。

端末のコンピュータをトークンリング LAN から切り離し終了する。これを流れ図にすると図5のようになる。

### 3.2 フレーム型の中のチュートリアル型 CAI の シナリオの構造

チュートリアル型はCAIコースウェアで学習し、その後で練習問題や章末問題を提示し、それを解くことにより教育項目を修得知識として定着化を計りながら前に進める。ここで、優秀な学生には発展的知識や応用的展望を提示できるようなオプションをつけておくと良い。

ここで、チュートリアル型CAIのシナリオ構造は基本的に、学習→テスト→評価の繰り返しであり、構造的に詳しく分解すると次のような手順となる。

電源を入れて学生番号、パスワードを入れてコンピュータの利用を宣言する。

- ①メニューより学習履歴などを参考にして今回の学習テーマを選択する。
- ②選んだテーマはカリキュラムの内容を構造的に配列してフレームの流れとして学生に教え込む。
- ③CAIによる教育は成果が上がったかどうか確認するため小テストを出し解答させる。
- ④小テストが正しく解けたかどうか調べる。
- ⑤問題が解ければ次のテーマに進むかどうかを判定する所⑩へ飛ぶ。
- ⑥解けなければ、誤りフラッグがONか調べてONならば⑧の解説に飛ぶ。

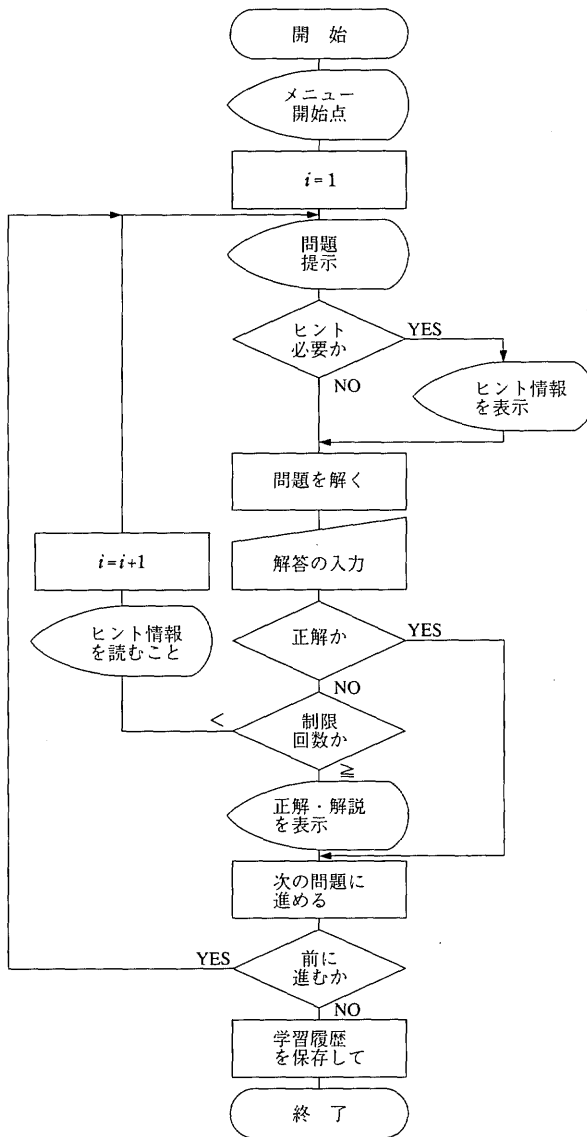


図5 ドリル型CAIのシナリオ

- ⑦問題が解けなければヒントとなる KR 情報を出して、誤りフラッグを ON に立てて再度③に飛ぶ。
  - ⑧正解を解説する。類題で知識の定着をはかる指導をする。
  - ⑨誤りフラッグを OFF にする。
  - ⑩ CAI での教育を終わりにするか判定して終わりならば終わり処理⑪に飛ぶ。
  - ⑪次は章末であるか調べて章末ならば章末テスト⑬へ飛ぶ。
  - ⑫章末でなければ、テーマを前に進めて②～⑫を繰り返す。
  - ⑬章末のテスト問題を提示する。
  - ⑭ヒント情報が必要かどうか、必要ならば提示し解答させる。
  - ⑮正解かどうか判定する。正解ならば章末テストが終わりかどうかの判定⑯へ行く。
  - ⑯不正解ならば類題を提示する。
  - ⑰ヒント情報を提示する。
  - ⑱問題が解ければ、章末テストが終わりかの判定⑯へ飛ぶ。
  - ⑲正解を提示し解説する。
  - ⑳章末テストが終わりか終わりでなければ次の問題に進め⑬～⑯を繰り返す。
  - ㉑CAI の教育の履歴情報を学習管理ファイルに格納する。
  - ㉒CAI の終了処理をする。
- この論理を流れ図で示すと図 6 のようになる。

### 3.3 データベース型 CAI(データ検索型)のシナリオの構造

データベース型 CAI は学習目的とする教科科目のテーマをカリキュラムに添って論理的に細かく細分して 1 画面 1 画面とフレーム化してフレーム番号を付ける。ここに、基礎論、発展、応用と幅広く情報を入れる。

ただし、フレーム番号の設計上の留意点は後からの追加等を考慮して柔軟性が要求される。

その後で、細分された教育科目のテーマ(キーワード)とフレーム番号との対

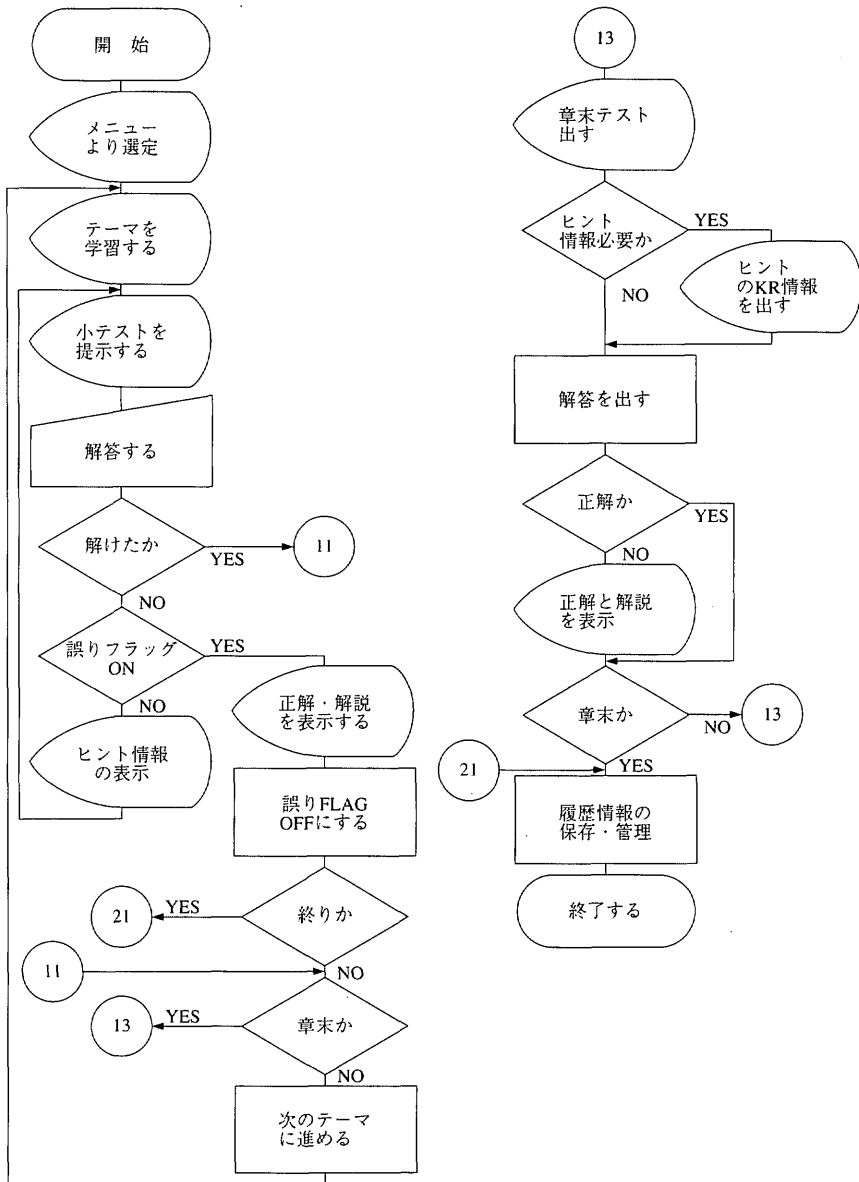


図6 チュートリアル型CAIのシナリオ

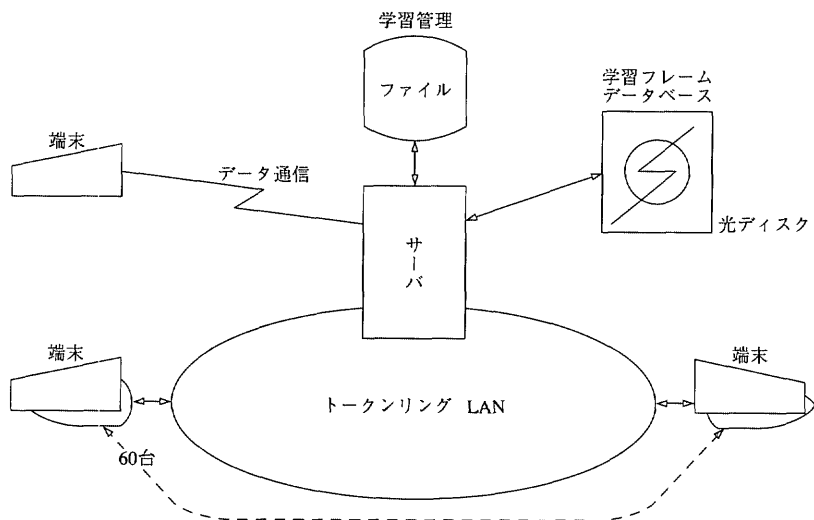


図7 科目別知識データベース

応テーブルを作成する。これを科目別知識データベースと仮に呼ぶとする。

このデータベース型CAIに対して、学ぶ場合のシナリオは自分で調べたいキーワードを問い合わせたり、情報検索したりして、創造的・発見的な学習をする。ここで、教員の問題提示、ヒントなどが、このタイプのCAIのポイントとなる。

このIBMのトークンリングLAN上で動く科目別知識データベースのシステム図は図7のようになる。

データベース型CAIを利用して学習する場合のシナリオは次のようになる。

- ①メニューを表示しCAIを使用する学生番号とパスワードの登録をする。
- ②学習したいテーマをキーワードとしてキーインする。
- ③待ち行列がある場合は優先度の高いものから処理する。
- ④データベースを検索する。
- ⑤データベース上に有るか否かを判定する、該当する場合は学習する⑦に行く。



- ⑥該当しない場合は、そのキーワードを該当なしとプリンターに印字し、次のデータベース更新の時までに追加すべきかどうか検討する。検索終わり⑪にとぶ。
  - ⑦該当した第1画面から表示される。学生が学習を開始する。
  - ⑧学生の指示に従って前に進んだり、元に戻したりする。
  - ⑨そのテーマが全部終わったかどうか調べて終わったら検索終わり⑪に飛ぶ。
  - ⑩終わりでなければ終わりまで検索する。
  - ⑪次のテーマを検索するかたずねる。続ける場合は②に飛ぶ。
  - ⑫CAI システムに学習の終わったことをタイプインして学習履歴を記憶して終了する。
  - ⑬CAI システムは①に戻り次の利用を待つ。
- データベース型 CAI のシナリオを流れ図に書くと次の図 8 のようになる。

### 3.4 自動生成型 CAI のシナリオの構造

自動生成型 CAI はオーサリングシステムの持っている乱数発生機能を使って同等問題の中からランダムに選択して問題を提示したり、もし全部解くにしても問題の提出順を変えたり、同一問題の中の数字を変えることによって別の問題として解かせたりシミュレーションモデルなどで、多くのケースを実験的に学習させたりするタイプの CAI である。

自動生成型 CAI は単調なシナリオではなく、問題の提出順を変えたり、問題の数字の部分を変えたりする。そこで隣の学生とは同じ進度でも異なる問題でテストをすることになる。先生の対応は複雑になるが学生にとって成果は上る。

自動生成型の CAI を用いて学習するときのシナリオ構造は次のようになる。

- ①メニューを表示して学生番号とパスワードをインプットし学習履歴を呼び出す。
- ②教科科目のカリキュラムに添って CAI 学習をする。
- ③同等程度の練習問題を乱数で選定して提出してくる。
- ④ヒント情報が必要かどうか、必要ならばヒントの KR 情報を参照する。

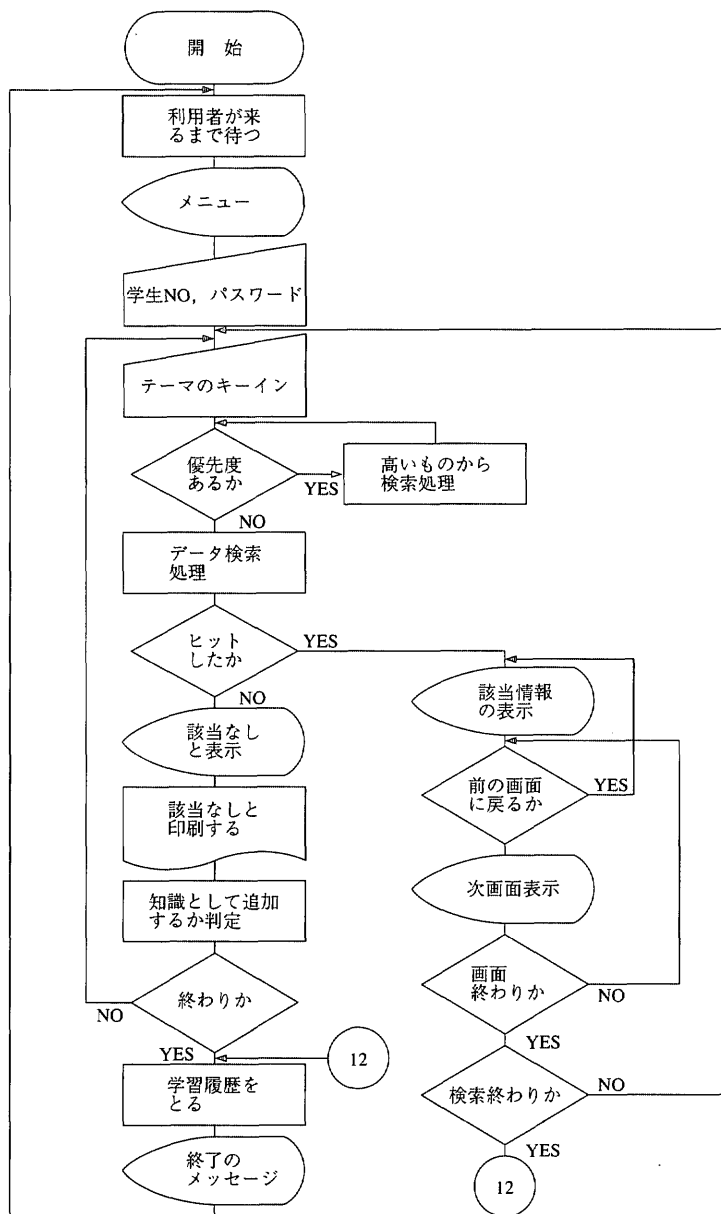


図 8 データベース型 CAI のシナリオ

- ⑤問題を解くシミュレーションならばデータを投入して実験する。
- ⑥解答が正しいかどうかを判定し、正解ならば正解処理⑪に飛ぶ。
- ⑦解けなければ正解を提示する。
- ⑧乱数で次の同等な問題を提示し、解答させる。
- ⑨正解か判定し正解ならば、正解処理⑪に飛ぶ。
- ⑩不正解ならば、解説と正解を提示する。
- ⑪終わりにするか判定する。終わりならば終わり処理⑫へ飛ぶ。
- ⑫章末であるか、章末ならば章末問題処理⑭に飛ぶ。
- ⑬章末でなければ、カリキュラムを進めて②～⑬を繰り返す。
- ⑭章末問題を乱数で同程度の中から選んで提示する。
- ⑮解答をして、正解ならば次のテーマの章末問題を解くため章末問題が終わりか判定⑰に飛ぶ。
- ⑯不正解ならば解説して正解を提示し、そのテーマの問題を出す⑱へ飛ぶ。
- ⑰章末テストが終わりか、終わりならば学習を終わるか判定⑲に行く。
- ⑱章末テストのテーマを進めて⑭へ飛ぶ。
- ⑲学習が終わりか、終わりならば終了処理㉑へ飛ぶ。
- ㉒終了でなければ次の章に進めて②へ飛ぶ。
- ㉓学習履歴を学習管理ファイルに登録してトークンリング LAN から切り離し終了する。

自動生成型 CAI の学習システムのシナリオ構造を流れ図にすると図 9 のようになる。

### 3.5 マルチメディア型 CAI のシナリオ構造

マルチメディア型 CAI は前述した 4 タイプの現在よく用いられている CAI コースウェアにも導入できる。それは CAI のその場面場面に適したメディアを用いればより効果的な教育効果が出ると考えられる。

マルチメディアの特徴は多様なデータ表現を可能にする機器が出現したり、多様な入出力機器が出現したり、大量のデータを記憶する機器が出現したり、さらにそれらの機器が処理速度も高速化し、使用方法も簡単になってきたこと

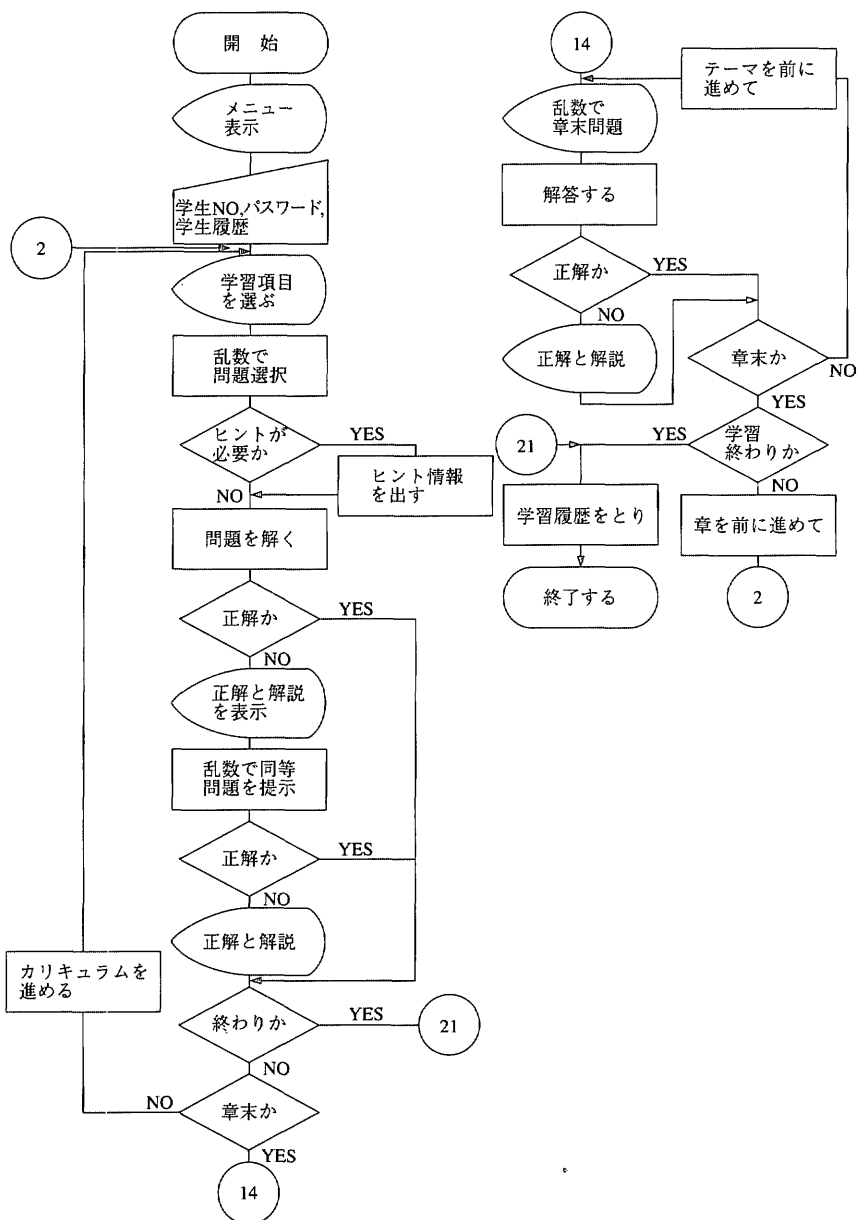


図 9 自動生成型 CAI のシナリオ

メディア	機 能	機 器
文 字	文書（テキスト）作成，特殊フォント，プログラム	ワープロ エディタ
静止画 図 形 ハイパーメディア	文字，図形，絵，文字など 製図とそれを用いた工作	イメージ スキャナなど CAD, CAM
動 画 アニメーション グラフィック	アニメーションによる動画 シミュレーションのモデル構築	映像 コンピュータ
音 声 音 楽	音声の録音 音符の入力と編集	カセットテープ CD 光ディスク ミュージック・エ ディタ

図10 マルチメディアの機能と機器

である。

マルチメディアの種類としては画像情報（動画映像，静止画），図形情報（動的図形＜アニメーション＞，静的図形），ハイパーメディア（各種メディアを並列，直列に並べて画像提示する，学生によってシナリオが異なる），言語情報（文字情報），音響情報（音声情報，音楽情報）等がある。

これらの情報をCAIコースウェアの場面場面に最適の情報を出すようにミックスして表示するのがマルチメディアCAIの特徴である。

マルチメディア型CAIは特別なシナリオがあるわけではなく，前述した4つのタイプのそれぞれの場面でそれに適したメディアを組み合わせることで理解ができやすくなる，と考える。

そこで，あえて特別なシナリオを考察しない。

ここで現在知られているマルチメディアを一覧にしたのが図10である。

### 3.6 全CAIに共通する技法によるシナリオの充実

現在実用化されているのは上記5つのタイプである。知的CAIの実用にはまだ時間がかかるが概要について次の節で述べる。

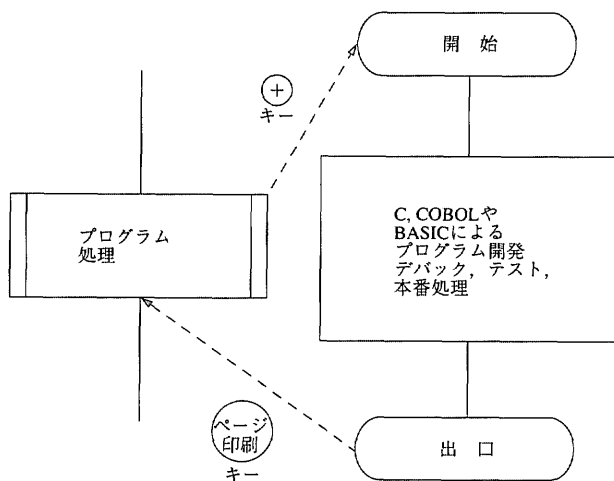


図11 6.1 プログラム処理

これから述べる7つの共通の機能はCAIのシナリオを充実させるために随所で繰り返されるべき有効な技法である。

### 3.6.1 CAI コースウェアからプログラム処理に飛び処理して戻る機能

この機能は問題解決型CAIを構築するのに適している。その機能とは、CAIのコースウェアから飛び出しC, COBOLやBASICのプログラムなどの実習をしてプログラムについて理解したら、またCAIコースウェアに戻る技法である。

この機能を用いることは、目的の問題解決の処理をするために流れ図を書いてプログラムを作りコンピュータでコンパイルし、テスト・デバックしてデータを用いてコンピュータ処理が可能である。これを図示すると図11となる。

### 3.6.2 初期画面に部分画面の張り付け・削除などの合成機能

初期画面に部分画面を合成してあたかも張り付け感覚で画面を構成することができる機能がある。

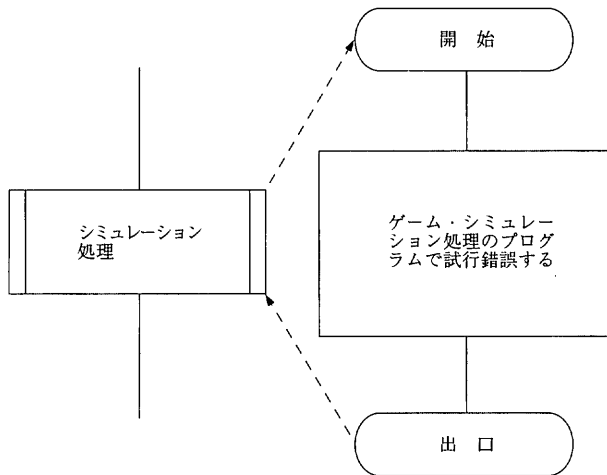


図12 6.4 シミュレーション処理

これにより同一画面を加工するようなシナリオを作る場合入出力も少なく済み時間的にも早くなる。

表示するタイミングをスライドすることにより黒板に書くような感覚で順次表示して行くこともできるし、消すこともできる。

一画面に数問提示している場合は、今どの問題を解くのかを表示するため色を合成することができる。

### 3.6.3 アニメーション（動画）の機能

アニメーションの機能は、学習画面の説明図やKR情報などの説明図がアニメーションを使って動的に表現したほうが理解しやすい場合が多々ある。このような場面に用いると良い。

### 3.6.4 シミュレーションの機能

この機能は6.1でCAIコースウェアからコンピュータ処理に抜け出しシミュレーションプログラムを実行して机上実験を繰り返して試行錯誤をして、最適

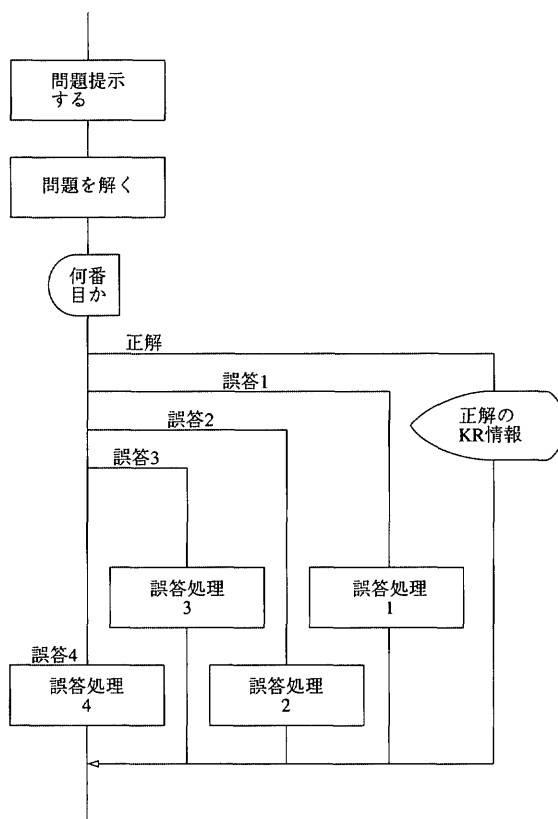


図13 6.5 五者択一シナリオ

値を求めてCAIコースウェアに戻ることが可能である。ゲーム・シミュレーションによる疑似実験を繰り返して学習や実験をするタイプのシナリオ作りのときに用いる。ビジネスゲームなどのゲーム・シミュレーション型CAIの開発に欠かせない機能である。これを図示すると図12となる。

### 3.6.5 五者択一機能

練習問題か演習問題で5つの選択肢の中から、解答を1つ選んで解答する。



この場合には正解の場合、誤り1、誤り2、誤り3、誤り4の5つのケースのそれぞれにKR情報を出して指導することが可能になる。ただし5個以上の選択肢のある場合はこの機能が使用できないのが残念である。しかし、新システムでは99選択肢まで可能であり、より複雑なシナリオを作れるようになる。このシナリオを図示すると図13となる。

### 3.6.6 ワードマッチングにより10選択肢まで可能な機能

情報処理試験では午前中の問題において十者択一問題が大部分である。そこで情報処理試験の受験対策のCAIコースウェアを開発する場合はどうしてもこの機能がテスト問題を解かせ評価・解説・指導等の部分を構成するシナリオの中心になる。

これは解答が正解であるか、不正解であるかによってKR情報を出すので指導が甘くなる部分を含んでいる。それは、解答別に親身の指導ができないことである。これは新システムになれば解決する。

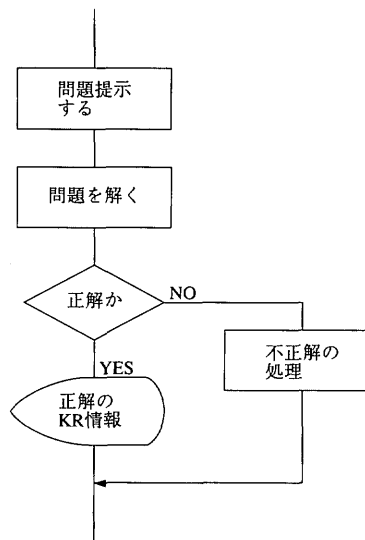


図14 6.6 ワードマッチングのシナリオ

このシナリオを図示すると図14となる。

### 3.6.7 穴埋め問題機能

穴埋め問題を出して、解答予測をして正解パターン(複数個あれば全部入れる)に合っていれば正解とし、それ以外は不正解とする。それぞれに KR 情報と対応処理をするようにしてシナリオを設計する。3.6.6の変形と考えても良い。

このシナリオを図示すると図15となる。

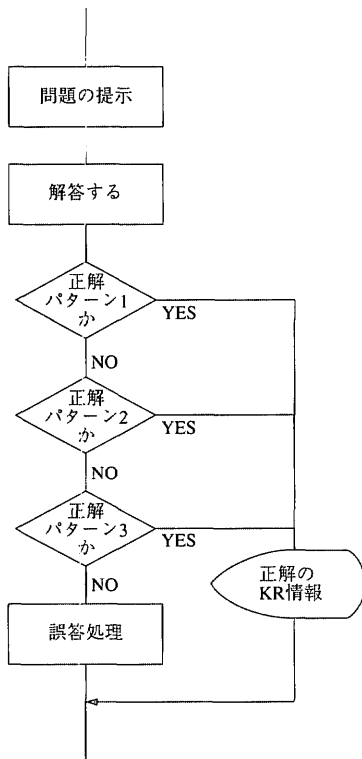


図15 6.7 穴埋め問題のシナリオ

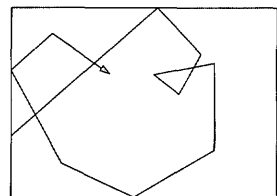


図16 ブラウン運動

### 3.7 知的 CAI についての見解

知的 CAI は現在世界中の知的 CAI 研究者が研究中でいまだ実用の域には至っていない。しかし、知的 CAI が CAI 研究家の中で一番待望されている。

知的 CAI は人工知能等の知識工学の発展、情報関連技術の発展やマルチメディアの発展と共に実用的 CAI の実現性が増大してきている。

特にハイレゾ(1120×750ドット)の大画面に Window3や OS2などのマルチウィンドー方式で多くの画面を同時に出したりすることで創造的な知的思考がより高度に展開できる。

これは光技術による光データベースの出現で高速な検索・書き換え等が可能になり、データ通信速度の向上も知的 CAI の実用化の実現の原動力となりつつある。

知的 CAI には CAI コースウェアを設計する場合に前述の 1～5 タイプの CAI と異なり CAI の流れを決めたシナリオがないことが特徴である。

それは、学生の考え、疑問、興味の方向、創造性、個性、学生の達している学力や意思決定などによってどんな方向に進むか予測できない。そこで特定のシナリオがないのである。

知的 CAI は空気中の分子の動きであるブラウン運動に似ている。これを図示すると図16のようになる。知識の密度が深くなればなるほど、複雑さが増し知識の精度も上昇する。

たとえば、19路方眼の盤上でプレイする囲碁でさえ古今東西いまだ同一のシナリオが出現したことがないという。その組み合わせ数は次のようになる。

第一手目は  $19 \times 19 = 361$ 通り

第二百手で終了したとすると

$361 \times 360 \times 359 \times 358 \times \cdots \times 161$ 通りとなり天文学的数字となる。

同一のシナリオの出現は確率的に見ても不可能である。

同様にある教科科目のポイントとなる教育要因(キーワード)数が例えば1000項目あるとすれば100ステップのシナリオを考えると

$1000 \times 999 \times 998 \times \cdots \times 902 \times 901$ 通りとなり現実的には無限大のシナリオ

が出現することになる。

近年特にファジイ推論やニューラルネット等の人工知能に関する研究の成果が出てきて知的 CAI の実用化に向けての可能性が出てきている。

知的 CAI は知識ベース、推論機能やデータベースなどから成っている。その構築の手順を順次示すと次のようになる。

- ①専門家が知識ベースに知識を入れる。
- ②入力データや結果を保存するのがデータベースである。
- ③利用者である学生はインターフェイス技術を駆使した機器を使ってキーワ

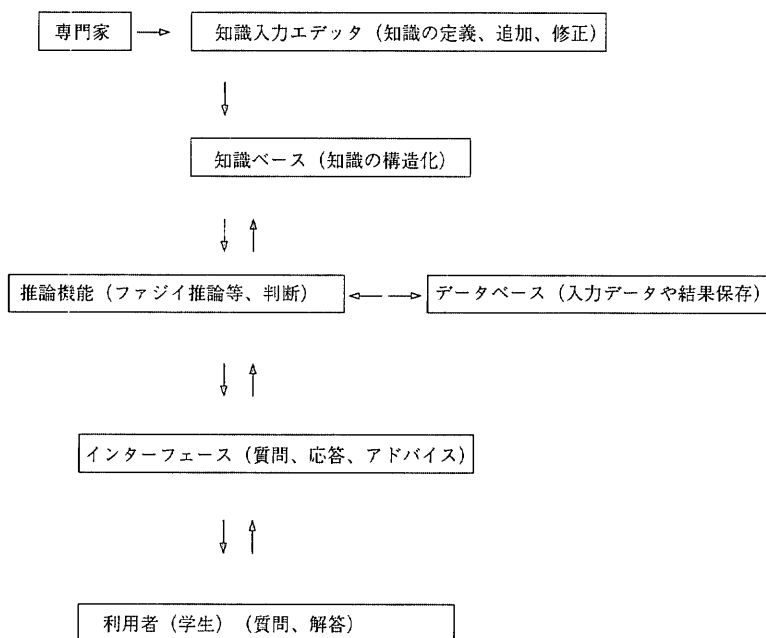


図17 知的 CAI の関係図

ードを入力する。

④ CAI 側から利用者である学生に質問する。

⑤利用者である学生はその質問に答える。

⑥ CAI 側では解答を解釈し、推論機能で推論して利用者である学生に求める根拠や結論をアドバイスする。

知的 CAI の関係図を示すと図17のようになる。

一番成果の挙がると考えられている知的 CAI の研究は今後の課題として研究をする。

## 4 CAI の運用上の問題、構築上の問題と誤答の処理

### 4.1 CAI の運用上の問題

この CAI コースウェアの狙いは、2.1で述べたように学習した後で、知識が定着しているかどうかを調べるために CAI コースウェアを用いて演習する。この際に問題を読んだだけで理解できて解答できるならばただちに解答する、もし分かりにくければサテライト情報（ヒント情報）を要求してそれを理解してから解答すればよい。

学習の進め方は学生が解答した後で、正解であれば「正解であること」をメッセージとして学生に伝えて次の問題に進む、誤答であれば KR 情報を提示し、理解を確実にする。

誤答のときの対処の方法としては KR 情報で理解しやすい問題ならば正解を提示し説明を加えればよいし、理解しにくい問題ならば、詳しい説明をして更に類似問題を提示して解かせる。ここではチュートリアル型のシナリオで指導する。

それでも理解できなければそのテーマを再度学習するように警告して類似問題の正解を提示して前に進ませる。正解であれば「理解できましたね」等の KR 情報を提示して前に進ませる。解答における正解率が下がってきた場合は再度そのテーマを学習するようにして CAI コースウェアの学習の進行を一時停止

させるように設計する。これを流れ図に書くと、前の3.2節の図6のようになる。

誤答に対する処理については次のCAIを構築する際の留意点でさらに述べる。

## 4.2 CAIを構築する際の留意点

論者はCAIを構築する場合に、次に示すような問題点、留意点を十分に念頭に入れて、論理的にも、技術的にも正しい方策を実施し、効果的なCAIができるように努めている。

- (1) 学習の流れが画一化しないように同一系統の問題は個々に乱数を発生させて出題順を変化させたり、複数題から選んで出題させたりするシナリオにするように作成する。
- (2) 学生が問題に対して理解できなくて悩んでいる箇所はそれぞれ異なることがあるので、その各々の疑問に答えられるようなヒント情報が出せるようによく検討してシナリオ作りをするようにする。
- (3) 問題に対しての応答処理は選択肢の選択問題や穴埋め問題によるワードマッチングになりがちであるが、なるべく予想解答を想定し誤答にたいする診断や治療のKR情報を考慮して単純にならないようにする。
- (4) 誤答のことであるが原因が明白でない場合は、正しい診断ができず正しいKR情報を出すことができない。
- (5) CAIによる教育は教員の作ったシナリオに依存するところが大きく影響する。単調にならないように工夫してCAIのコースウェアを作らなければならない。
- (6) きめこまかいCAIを構築する場合にヒント情報、KR情報等が多く、複雑になり労力が多くかかるようになる。
- (7) 音声とCAIコースウェアとの同期を取れるようなオーサリングシステムだとよい。
- (8) CAIの開発の目標は学生にとって使いやすく効果的で経済的なシステムを構築するようにしなければならない。
- (9) シミュレーションやデータベース等を引きながら仮説の検証を行なう発

見的学习は技術的に難しい。

以上のように CAI の開発にはいくつかの問題点があるがこれらを解決する時間と課題の個々の特徴に応じて応答処理ができれば効果的 CAI コースウェアが可能となる。

### 4.3 応答処理の問題

#### 4.3.1 応答の種類

特に、応答処理はいちばん重要な CAI 開発の問題点であるので重点的に論述する。学生が応答したときの解答の種類によって適切な KR 情報を与えなければならないので、応答の種類を分類すると次のようになる。

- (1) 正解の場合
- (2) 誤答の場合（解答した場合）
  - ①計算上の軽率（ケアレス）なミス
  - ②記憶するとき間違っただけのミス
  - ③正確に対象を理解していないためのミス
  - ④理解していないためデタラメの解答をする
- (3) 理解していないので無解答

#### 4.3.2 応答に対する対策

CAI コースウェアはこれらの応答に対してそれぞれにマッチした最適な KR 情報を学生に与えることが必要である。それには学生の状況を正確に同定しなければならない。

- (1) 正解の学生には褒める、また場面によっては発展的な知識や応用事例など提示して次に進ませる。しかし解けて当然の場合は褒めてはいけない。
- (2) 計算ミスのようなケアレスミスや簡単なミスの場合は検算させたりして自分で気づくように仕向ける必要がある。
- (3) 間違いに自分自身で気づかせるようなヒントを出し、激励して類題に進ませる。
- (4) 間違いを正しい方向に矯正させるように指導し直す。そして類題等を解

かせる。

- (5) 行きづまった学生に理解していない部分から再教育をするように支援する。

前記のようなミスの種類と支援のための KR 情報の種類の使い分けは CAI コースウェア作成者である教員の裁量と力量に依存するところが大きい。

#### 4.4 新システム「IMAGE 2」の特徴について

アルプシステムの新オーサリングシステム「IMAGE 2」にバージョンアップした場合の特徴について述べるが、このシステムが導入されれば CAI の開発に要する時間は今の 3 分の 1 ぐらいになるであろう。その主な改良点は次のようになる。

##### 新システムのポイント

バージョンアップした重要なポイントを列記すると次のような点である。

- (1) キーボード入力よりマウスクリップへ。
- (2) カラー部分が拡大・縮小する。
- (3) ファイルの窓表示。
- (4) カラーイメージスキャナで入力できる。
- (5) フレームの概念を自動フロー化される。
- (6) 学習テーブルと指導テーブルを統一一本化して、指導専用画面を新設し、システムが自動的にフローチャートを作成する。
- (7) ビジュアル・シミュレーションが自動化できる。
- (8) フレームを格納するとき縮小して格納できるので光ディスクの使用効率が増える。
- (9) 画面の拡大・縮小はアナログ的に連続的にできる。
- (10) 選択肢が 5 個より 99 個に拡大する。
- (11) CAI の開発時間が大幅に短縮できる。



## 5 結 論

CAI コースウェアの構築は開発に用いるオーサリングシステムの機能を超えた技法を用いることができない。また、我々は IBM のトークンリング LAN の動作環境の下で最大60人を個別に CAI 教育するのが目的である。そこで、CAI コースウェアの開発に当たって個別の指導ができるようにバラエティに富んだ、興味深いシナリオ作りをすることが肝要である。

CAI コースウェアの善し悪しはシナリオの善し悪しであると言っても過言でない。今回はすべての CAI コースウェアの作成技法に共通する要因となるシナリオの解析をした。この技法は、今後 CAI コースウェアを開発しようとする先生にとっても役立つ技法であると確信する。

CAI システムによる教育は完全にコンピュータに依存するのでなくタイミングよく教員がサポートできるように配慮し、CAI の解説で不明なところがあった場合に教員がアドバイスできるように教員の存在を意識している。これによって、十分な教育効果が期待される。

さて最近、知的 CAI が話題となっているが、あくまでも研究段階であり、これが実用化される段階には、コンピュータ技術も進み学生個々に応じた教育支援のできるものとなるであろう。しかし、実用化には、かなりの解決しなければならぬ点が残されており今後の課題とする。

残された研究は開発した CAI コースウェアの運用、評価と改善さらに、ヒューマンインターフェース問題であり、今後の課題として研究する。

我々の CAI コースウェア開発環境もアルプシステムの「IMAGE 2」が導入されることによって飛躍的改善が見込まれるので今後の課題とする。

### 〔注〕

- (1) 星野隆稿「情報処理技術者試験対策用 CAI に関するシステム開発の実践的研究」中央学院大学商経論叢，第 7 巻第 1 号，平成 4 年，107 頁。
- (2) 島村京一「個を生かす CAI 学習ソフトウェアの作成＜SP 教材作成法＞」視聴覚教育，Vol. 45, No. 49, 1991, 52～56 頁。

- (3) Warfield, J. N. : Societal System. John Wiley & Sons, New York, 1976, pp. 204-284.
- (4) 石谷久他著『社会システム工学』朝倉書店, 平成4年, 12~16頁.
- (5) 星野隆稿「CAIの現状と今後の課題」中央学院大学商経論叢, 第5巻第1号, 平成2年, 42~48頁.

〔参考文献〕

- (1) 佐藤隆博『ISM 構造学習法』明治図書, 昭和62年.
- (2) 芦葉浪久『CAI コースウェア作成技法』東京書籍, 昭和61年.
- (3) 渡辺茂他著『CAI ハンドブック』フジテクノシステム, 平成1年.
- (4) R. Lewis, S. Otsuki : Advanced Research on Computers in Education, North-Holland, 1991.